دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره نهم، شماره ۱۶، بهار و تابستان ۱۴۰۳
http://arpe.gonbad.ac.ir

ارزیابی مصرف سوخت و انرژی در تولید گندم و سیب‌زمینی در شهرستان گرگان

حسن حبیبی[۱]، محمد ملکان[۲]، مسعود تاجی[۳]*، سید قاسم حسینی حیدرآبادی[۴]

[۱]استادیار گروه علوم زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد

[۲]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه علوم زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد

[۳،۴]کارشناسان ارشد موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

چکیده

مقدمه: کشاورزی فشرده همراه با افزایش استفاده از کودهای معدنی و سموم دفع آفات و مکانیزاسیون، منجر به استفاده روزافزون از انرژی های فسیلی در طول دهه های متمادی شده است. در کشاورزی مدرن امروزی، علاوه بر استفاده مستقیم از انرژی فسیلی در فرآیندهای تولید، برای تولید کالاهای سرمایه‌ای و مصرفی، به ویژه برای تولید کود نیتروژن معدنی که بیش از ۵۰ درصد از کل ورودی انرژی را تشکیل می دهد، به ورودی انرژی فسیلی بسیار بالایی نیاز است. تولیدات کشاورزی هنوز هم به شدت به مصرف انرژی فسیلی در تقریباً هر مرحله از تولید متکی هستند. با این حال، رویکردهای زیادی برای صرفه‌جویی در انرژی فسیلی وجود دارد. تغذیه پایدار جمعیتی که به سرعت در حال رشد است، علیرغم دسترسی محدود و نسبتاً رو به کاهش سریع زمین قابل کشت، یک چالش بزرگ برای کشاورزان امروزی است. در همین حال، افزایش بهره‌وری محصول از زمین‌های زراعی موجود و کاهش اثرات زیست‌محیطی، استراتژی‌های حیاتی برای مقابله با این چالش هستند. دستاوردهای قابل توجهی در بهره وری محصول تاکنون عمدتاً با افزایش کودهای شیمیایی در بسیاری از مناطق به دست آمده است.

مواد و روش‌ها: در سال ۹۸-۱۳۹۷، تعداد ۲۵ مزرعه با هدف ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و تولید گندم و سیب‌زمینی در شهرستان گرگان با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز توسط مصاحبه به صورت چهره به چهره با تولیدکنندگان این محصول و انجام یادداشت برداری از کلیه عملیات زراعی گردآوری گردید. بعد از انجام ثبت اطلاعات ذکر شده در هر مزرعه، ارزیابی جریان انرژی صورت گرفت. انرژی مستقیم و انرژی غیر مستقیم نیز محاسبه گردید. انرژی‌های مصرف سوخت، نیروی انسانی، کاربرد ادوات و ماشین‌آلات، سموم، کودهای شیمیایی و بذر بر اساس ضرایب مربوطه محاسبه شدند.

*نویسنده مسئول: tajimasoud65@yahoo.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

نتایج: براساس نتایج برای تولید هر هکتار گندم و سیب‌زمینی به ۱۶۴ و ۲۰۵ لیتر گازوییل نیاز بود. همچنین برای تولید هر هکتار گندم و سیب‌زمینی به ترتیب ۱۸۲۷۶ و ۴۰۸۴۴ مگاژول انرژی در هکتار مصرف شد. میزان انرژی خروجی به ترتیب برای گندم و سیب‌زمینی معادل و ۱۰۸۰۰۰ به دست آمد. بر این اساس نسبت انرژی خروجی به ورودی به ترتیب ۹۷/ و ۲/۶۴ محاسبه شد. همچنین انرژی خالص در گندم و سیب‌زمینی به ترتیب ۳۶۱۱۴ و ۶۷۱۵۶، بهره‌وری انرژی به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷۳ و انرژی ویژه به ترتیب ۵ و ۱/۳۷ ارزیابی گردید.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج انرژی خالص در گندم و سیب‌زمینی به ترتیب ۳۶۱۱۴ و ۶۷۱۵۶، بهره‌وری انرژی به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷۳ و انرژی ویژه به ترتیب ۵ و ۱/۳۷ ارزیابی گردید. در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی بخش مهمی از مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند که با بهینه سازی مصرف آنها می توان گام مهمی در کاهش مصرف انرژی برای تولید محصولات گندم و سیب‌زمینی برداشت.

واژه‌های کلیدی: انرژی خروجی، انرژی ورودی، سوخت، کودهای شیمیایی.

مقدمه

کشاورزی فشرده همراه با افزایش استفاده از کودهای معدنی و سموم دفع آفات و مکانیزاسیون، منجر به استفاده روزافزون از انرژی های فسیلی در طول دهه های متمادی شده است. در کشاورزی مدرن امروزی، علاوه بر استفاده مستقیم از انرژی فسیلی در فرآیندهای تولید، برای تولید کالاهای سرمایه‌ای و مصرفی، به ویژه برای تولید کود نیتروژن معدنی که بیش از ۵۰ درصد از کل ورودی انرژی را تشکیل می دهد، به ورودی انرژی فسیلی بسیار بالایی نیاز است (Rahman et *al*., 2022; Dimitrijević *et al*., 2020). تولیدات کشاورزی هنوز هم به شدت به مصرف انرژی فسیلی در تقریباً هر مرحله از تولید متکی هستند. با این حال، رویکردهای زیادی برای صرفه‌جویی در انرژی فسیلی وجود دارد، به عنوان مثال: از طریق استفاده از ماشین‌آلات کارآمدتر و نوآورانه‌تر، کاهش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی، کشاورزی دقیق و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر (Chmelíková *et al*., 2024). تغذیه پایدار جمعیتی که به سرعت در حال رشد است، علیرغم دسترسی محدود و نسبتاً رو به کاهش سریع زمین قابل کشت، یک چالش بزرگ برای کشاورزان امروزی است. در همین حال، افزایش بهره‌وری محصول از زمین‌های زراعی موجود و کاهش اثرات زیست‌محیطی، استراتژی‌های حیاتی برای مقابله با این چالش هستند (Gao *et al*., 2024). دستاوردهای قابل توجهی در بهره وری محصول تاکنون عمدتاً با افزایش کودهای شیمیایی در بسیاری از مناطق به دست آمده است. داده های آماری نشان می دهد که کل مصرف کود نیتروژن در جهان به ۱۰۹ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ رسیده است که افزایش تقریباً ۸/۵ برابری نسبت به سال ۱۹۶۱ نشان می دهد، در حالی که تولید گندم، برنج و ذرت به ترتیب ۲/۵، ۲/۷ و ۴/۹ برابر افزایش یافته است (FAO, 2023).

با این حال، توسعه پایدار بیشتر سیستم‌های کشاورزی فشرده ممکن است با سرمایه‌گذاری منابع فشرده که همیشه با انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای و از دست دادن مواد مغذی همراه است، جلوگیری شود که در نهایت منجر به مسائل زیست‌محیطی جدی می‌شود. اهمیت پیگیری بهره وری بالاتر از طریق ورودی منابع خارجی (کودهای نیتروژن شیمیایی و آب آبیاری) به طور گسترده مورد بحث قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل انرژی یک نیاز اساسی و ضروری برای اجرای هر برنامه مدیریت انرژی است. ارزیابی الگوهای مصرف انرژی در تولید محصولات زراعی برای استفاده بهینه از منابع طبیعی موجود، مدیریت صحیح/حفظ انرژی و به حداقل رساندن هدررفت در طول عملیات تولید ضروری است. بنابراین، با آنالیز انرژی تولید محصول تلاش خواهد شد تا مصرف انرژی و کاربرد مشخص شود (Kargwala *et al*., 2022). در همین حال،

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

نیاز به توجه کاهش هزینه‌های زیست محیطی نیز خواهد بود (Xiong *et al*., 2024). شهرستان گرگان واقع در استان گلستان دارای ۲۶۸۳۲۶ هکتار سطح زیرکشت می‌باشد که از این میزان تقریباً هر ساله ۲۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ هکتار به ترتیب به کشت گندم و سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد. محصولات گندم و سیب‌زمینی از دیرباز در این شهرستان کشت می‌گردد و بنابراین بررسی مصرف سوخت و انرژی در این محصولات ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش

در سال ۹۸-۱۳۹۷، تعداد ۲۵ مزرعه با هدف ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و تولید گندم و سیب‌زمینی در شهرستان گرگان با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز توسط مصاحبه به صورت چهره به چهره با تولیدکنندگان این محصول و انجام یادداشت برداری از کلیه عملیات زراعی گردآوری گردید. این عملیات شامل آماده‌سازی زمین: با استفاده از انواع ادوات شخم، زیرشکن، دیسک، کولتیواتور، هرس، لولر، نهرکن؛ عملیات کاشت بذر: با استفاده از بذرکار سانتریفیوژ، ردیف‌کار، خطی کار، عمیق کار، کمبینات و دست‌پاش؛ عملیات داشت: شامل کوددهی به‌صورت پایه و سرک توسط کودپاش‌های سانتریفیوژ، همراه با کشت و یا به‌صورت دستی، مراقبت از کشت با استفاده از سم‌پاش‌های تراکتوری، توربولاینر، بوم و نیروی مکانیکی، آبیاری محصولات بر اساس انواع چاه‌ها و سیستم‌های آبیاری سنتی و تحت‌فشار؛ و عملیات برداشت: یا استفاده از کمباین و یا نیروی انسانی است. در مزارع اطلاعات مربوط به مدت‌زمان عملیات زراعی، مقدار سوخت مصرفی برای هر یک از عملیات زراعی در هکتار، ماشین‌های مورداستفاده و توان آن‌ها، تعداد دفعات هر یک از عملیات، رقم و میزان بذر مصرفی، نوع کودهای شیمیایی و آلی مصرفی، نوع سموم مصرفی برای دفع علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها، روش‌های آبیاری، نوع سوخت مصرفی برای انجام آبیاری (دیزلی یا الکتریسیته) و همچنین اطلاعاتی مانند سطح زیر کشت و نوع محصول کشت‌شده قبل از کشت محصولات مذکور در هر مزرعه ثبت شد (جدول ۱). بعد از انجام ثبت اطلاعات ذکر شده در هر مزرعه، ارزیابی جریان انرژی صورت گرفت. انرژی مستقیم و انرژی غیر مستقیم نیز محاسبه گردید. انرژی‌های مصرف سوخت، نیروی انسانی، کاربرد ادوات و ماشین‌آلات، سموم، کودهای شیمیایی و بذر بر اساس ضرایب مربوطه محاسبه شدند. میزان انرژی خروجی نیز با توجه به عملکرد دانه گندم و غده سیب‌زمینی محاسبه شد. همچنین شاخص‌های انرژی از جمله شاخص کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و عملکرد انرژی خالص نیز محاسبه گردید. پس از جمع‌آوری تمام پارامترهای اشاره‌شده در هر مزرعه، داده های به دست آمده از دیدگاه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، و در نهایت کلیه محاسبات با استفاده از صفحه‌گستر اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نهاده‌ها: بر اساس نتایج در کشت گندم انرژی ناشی از سوخت فسیلی برای عملیات زراعی و آبیاری، کودهای شیمیایی، بذر مصرفی، کاربرد ماشین‌آلات، سموم، الکتریسیته و نیروی انسانی به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان انرژی مصرف شده را نشان دادند، به طوری که کاربرد کودهای شیمیایی و آلی و سوخت فسیلی مجموعاً ۷۰ درصد از مصرف انرژی را در پی داشتند. در مطالعه‌ای با بررسی مصرف انرژی در تولید گندم دیم در چین گزارش شد که ۵۶، ۲۲، ۱۴، ۴ و ۴ درصد از مجموع مصرف انرژی به ترتیب برابر مربوط به مصرف کودهای شیمیایی، سموم، بذر، ماشین‌آلات و نیروی کارگری بود (Wang *et al*., 2019).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

جدول ۱- مقدار نهاده‌های مصرف‌شده در تولید گندم و سیب‌زمینی در گرگان

Table 1- Amount of inputs used in wheat and potato production in Gorgan

میانگین Average		واحد (در هکتار) Unit (in hectares)	نهاده‌های ورودی Inputs
سیب‌زمینی Potato	گندم Wheat		
138	92	kg	N
46	69	kg	P_2O_5
48	24	kg	K_2O
3300		kg	کود آلی Organic fertilizer
0.53	0.57	kg	علف‌کش Herbicide
1.52	0.25	kg	قارچ‌کش Fungicide
-	0.9	kg	حشره‌کش Insecticide
3750	220	kg	بذر Seed
61/7	34.8	h	ماشین‌آلات Machinery
171	149	Liter	سوخت فسیلی برای عملیات زراعی Fossil fuel for agricultural operations
34	15	Liter	سوخت فسیلی برای آبیاری Fossil fuel for irrigation
80	40	Kw/h	الکتریسیته Electricity
343.3	52.54	h	نیروی انسانی Human resources
30000	3700	kg	عملکرد محصول Product performance

در کشت سیب‌زمینی انرژی ناشی از مصرف غده‌های بذری، کودهای شیمیایی و آلی، سوخت مصرفی برای عملیات زراعی و آبیاری، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، سموم شیمیایی و الکتریسیته به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان را نشان داد (جدول ۲). در تولید گندم ۱۸/۵۸ درصد از مصرف انرژی کل برای تولید مربوط به مصرف بذر بود (جدول ۲). در کشت سیب‌زمینی انرژی بذر ۴۷ درصد از مجموع انرژی کل را تشکیل داد. بررسی نتایج مصرف انرژی در بخش کودهای شیمیایی و آلی نشان داد که در تولید گندم به طور میانگین ۶۵۰۲ مگاژول در هکتار انرژی صرف شد که ۸۶ درصد آن متعلق به کاربرد کودهای حاوی نیتروژن بود. کودهای حاوی فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۲ و ۲ درصد را نشان دادند (جدول ۲). از آنجایی که کاربرد کودهای نیتروژنه ۳۴ درصد مسئول مصرف انرژی هستند، بنابراین توجه به کاهش مصرف این نوع کودها نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی در تولید گندم دارد. در کشت سیب‌زمینی ۲۵ درصد از مجموع مصرف انرژی متعلق به مصرف کودهای شیمیایی بود که ۸۵ درصد آن با مصرف کود نیتروژن همراه بود (جدول ۲).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

جدول ۲- مقادیر مصرف انرژی بر حسب مگاژول در هکتار ناشی از نهاده‌ها در تولید گندم و سیب‌زمینی در گرگان

Table 2- Energy consumption values in megajoules per hectare from inputs in wheat and potato production in Gorgan

میانگین Average		محل مصرف انرژی Energy consumption location
سیب‌زمینی potato	گندم Wheat	
8363	5572	N
511	765.9	P_2O_5
322	161	K_2O
990	-	کود آلی Organic fertilizer
10185	6502	مجموع انرژی کود Total fertilizer energy
151.54	164.31	علف‌کش Herbicide
150.48	24.51	قارچ‌کش Fungicide
-	213.3	حشره‌کش Insecticide
302.03	402.11	مجموع انرژی سموم Total energy of toxins
19125	3454	بذر Seed
2454	1404	ماشین‌آلات Machinery
6521	5700	سوخت فسیلی برای عملیات زراعی Fossil fuel for agricultural operations
1292	570	سوخت فسیلی برای آبیاری Fossil fuel for irrigation
7813	6270	کل سوخت Total fuel
288	144	الکتریسیته Electricity
676.3	103	نیروی انسانی Human resources
40844	18276	مجموع انرژی ورودی Total input energy
108000	54390	مجموع انرژی خروجی Total output energy

سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2013) با بررسی سناریوهای مختلف از نظر مصرف انرژی در مزارع گندم گرگان دریافتند که میزان مصرف انرژی را از ۱۲۳۶۷ مگاژول در هکتار در مزارعی با مصرف زیاد نهاده‌ها تا ۱۴۵۸ مگاژول در هکتار برای مزارع دیم و با نهاده کم ارزیابی نمودند. رجبی همدانی و همکاران (Rajabi Hamedani *et al.*, 2011)

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

گزارش کردند که ۳۹ درصد از مجموع مصرف انرژی در تولید سیب زمینی متعلق به مصرف کودهای نیتروژنی بود. انرژی مصرفی در بخش استفاده از سموم جهت کنترل علف‌های هرز در تولید گندم به طور میانگین ۱۶۴/۳۱ مگاژول در هکتار ارزیابی شد که کلیه کشاورزان از این نوع سموم استفاده کرده بودند. برای تولید هر هکتار سیب‌زمینی ۳۰۲/۰۲ مگاژول بر هکتار انرژی ناشی از مصرف سموم شیمیایی صرف شد که سهم قارچ‌کش‌ها صفر بود (جدول ۲).

در مجموع برای تولید هر هکتار گندم به ۱۶۴ لیتر در هکتار سوخت فسیلی و ۴۰ کیلووات ساعت الکتریسیته نیاز بود (جدول ۱) که مصرف سوخت فسیلی ۳۵/۴ درصد و مصرف الکتریسیته کمتر از یک درصد از مجموع انرژی ورودی را نشان دادند. این نیروی الکتریسیته صرف بالاکشیدن آب آبیاری از اعماق مختلف چاه‌های کشاورزی می‌گردد. مطالعات مختلف میزان متفاوتی را در مصرف سوخت برای تولید هر هکتار گندم گزارش کرده‌اند، این مقادیر عبارتند از: ۹۲ لیتر (Soltani *et al.*, 2013)، ۱۲۶ لیتر (Mollaei and Afzalinia, 2012)، ۹۳/۴ لیتر (Taghavifar and Mardani, 2015)، ۱۲۵/۶ لیتر (Wang *et al.*, 2019)، ۶۵ لیتر (Safa *et al.*, 2012). همچنین تقوی‌فر و مردانی (Taghavifar and Mardani, 2015) نیز میزان مصرف الکتریسیته را برای آبیاری هر هکتار گندم ۷۰/۴۹ کیلووات ساعت و محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) این میزان را ۲۰۹ کیلووات ساعت گزارش نمودند. در تولید سیب‌زمینی در هر هکتار به ۲۰۵ لیتر سوخت فسیلی و ۸۰ کیلووات ساعت الکتریسیته نیاز است که به ترتیب ۱۹/۱۲ و کمتر از یک درصد از مجموع انرژی ورودی کل را به خود اختصاص داد (جدول ۲). در مطالعه ای دیگر سهم سوخت فسیلی در تولید سیب زمینی ۲۱ درصد ارزیابی شد (Rajabi Hamedani *et al.* 2011). بر اساس نتایج سهم استفاده از ماشین‌آلات در تولید گندم و سیب‌زمینی به ترتیب ۷/۵۵ و ۶ درصد از مجموع انرژی ورودی بود (جدول ۲). برای تولید هر هکتار گندم و سیب-زمینی به ترتیب ۵۴/ و ۳۴۳/۳ ساعت نیروی کارگری نیاز بود (جدول ۱) و سهم مصرف انرژی ۰/۵۵ و ۱/۶۵ درصد از مجموع انرژی ورودی بود (جدول ۲). در تولید هر هکتار گندم و سیب‌زمینی بیشترین مصرف انرژی کارگری به ترتیب در عملیات‌های آبیاری و وجین ارزیابی شد.

بنابراین از مجموع نتایج ذکر شده به‌نظر می‌رسد برای کاهش مصرف انرژی در تولید گندم مصرف مقادیر مناسب کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی و سوخت‌های فسیلی ضروری به نظر می‌رسد، زیرا در مجموع ۷۱ درصد از مصرف انرژی ناشی از مصرف کودهای نیتروژنه و سوخت‌های فسیلی می‌باشد. در تولید سیب‌زمینی نیز کاهش انرژی ورودی ناشی از مصرف بذر به تنهایی موجب کاهش یک سوم از انرژی ورودی کل می‌گردد که پس از آن با مصرف بهینه کودهای شیمیایی و سوخت فسیلی می‌توان تا حد زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود.

شاخص‌های انرژی: برای تولید هر هکتار گندم ۱۸۲۷۶ مگاژول در هکتار به انرژی نیاز بود که از این میزان ۶۴ درصد آن به طور غیرمستقیم و ۳۶ درصد آن به صورت مستقیم دریافت شده است (جدول ۳). انرژی مستقیم شامل انرژی ناشی از نیروی کارگری، سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته می‌باشد. انرژی غیرمستقیم نیز ناشی از انرژی ساخت، تعمیر و نگهداری ماشین آلات و انرژی ناشی از مصرف بذر و مواد شیمیایی مانند کودها و سموم می‌باشد. از آنجایی که کاربرد کودهای نیتروژنه و سوخت فسیلی عامل مصرف ۷۰ درصد انرژی در تولید گندم در شهرستان گرگان است، بنابراین با کاهش این دو عامل می‌توان مصرف انرژی را به طور چشمگیری کاهش داد. رضوان‌طلب و همکاران (Rezvan Talab *et al.*, 2015) نیز مجموع انرژی ورودی در تولید گندم در استان گلستان را ۱۵۴۱۱ مگاژول در هکتار ارزیابی کردند که از این میزان ۶۵ و ۳۵ درصد به ترتیب به صورت مستقیم و غیرمستقیم مصرف شد. همچنین ایشان کاهش مصرف کودهای نیتروژنی و شیمیایی را از عوامل بسیار اثرگذار در کاهش مجموع انرژی ورودی بیان کردند.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

جدول ۳- شاخص‌های انرژی در تولید گندم و سیب‌زمینی در گرگان

Table 3- Energy indicators in wheat and potato production in Gorgan

سیب زمینی Potato	گندم Wheat	واحد Unit	شاخص‌های انرژی Energy indicators
8777	6517	مگاژول بر هکتار Megajoules/h	انرژی مستقیم Direct energy
32067	1759	مگاژول بر هکتار Megajoules/h	انرژی غیرمستقیم Indirect energy
40844	18276	مگاژول بر هکتار Megajoules/h	انرژی ورودی کل Total input energy
108000	54390	مگاژول بر کیلوگرم Megajoule/kg	انرژی خروجی کل Total output energy
2.64	2.97	مگاژول بر کیلوگرم Megajoule/kg	نسبت انرژی خروجی به ورودی Output to input energy ratio
67156	36114	مگاژول بر هکتار Megajoules/h	انرژی خالص Pure energy
0.73	0.20	کیلوگرم بر مگاژول Megajoules/h	بهره‌وری انرژی Energy efficiency
1.37	5	مگاژول بر کیلوگرم Megajoule/kg	انرژی ویژه Special energy

بر اساس نتایج برای تولید هر هکتار سیب‌زمینی ۴۰۸۴۴ مگاژول انرژی مصرف شد که از این میزان ۷۸ درصد آن به طور غیرمستقیم و ۲۱ درصد آن به صورت مستقیم دریافت شده است (جدول ۳). با مقایسه عوامل مؤثر در انرژی‌های مستقیم و غیر مستقیم می‌توان دریافت که بیشترین سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و بذر می‌باشد (جدول ۳). از این رو با بهینه‌سازی مصرف سوخت فسیلی می‌توان تا حد زیادی از ورود انرژی مازاد به مزرعه جلوگیری نمود. همچنین با کاهش مصرف غده‌های بذری و جایگیزینی مینی‌تیوبرها با آن و یا استفاده از غده‌های بذری سالم و یکنواخت می‌توان تا حد زیادی از ورود انرژی های غیر مستقیم به مزرعه کاست. همچنین آلالی و همکاران (Alali *et al.*, 2017) با بررسی مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی در مراکش بیان کردند که مجموع انرژی ورودی ۷۴۲۷۰ مگاژول بر هکتار بوده که سهم انرژی مستقیم و غیر مستقیم به ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد برآورد شد.

از هر هکتار تولید گندم ۵۴۳۹۰ مگاژول انرژی ناشی از دانه تولید شد (جدول ۳). کشاورزانی که کمتر از متوسط انرژی خروجی بازدهی داشته‌اند، کشت گندم را به صورت دیم انجام دادند. این کشاورزان ۱/۵ برابر انرژی کودهای شیمیایی کمتری نسبت به سایر کشاورزان استفاده کرده‌اند. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳ میزان انرژی خروجی کل ۲۰۲۵۰۰ ارزیابی شد که به ترتیب ۳/۷۲ و ۱/۸۷ برابر میزان انرژی خروجی حاصله از تولید گندم و سیب‌زمینی در هر هکتار بود. بر اساس نتایج به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی در تولید گندم و سیب‌زمینی ۲/۹۷ و ۲/۶۴ مگاژول انرژی خروجی حاصل شد (جدول ۳). در مطالعه ای در ایران کارایی انرژی در محصولات آبی مانند گندم، ۱/۳۲، جو ۱/۲۲، سیب زمینی ۰/۸۵، ذرت ۱/۸۱، پیاز ۰/۸۶، چغندرقند ۱/۷۷، عدس ۰/۷۰، نخود ۰/۷۳، هندوانه ۰/۹۳، سویا، ۱/۷۸، خیار ۰/۳۸، گوجه فرنگی ۰/۴۷ و پنبه ۰/۴۹ گزارش شد (Beheshti-Tabar *et al.*, 2010). به طور متوسط در هر هکتار به ترتیب برای تولید گندم و سیب‌زمینی به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۰/۲ و ۰/۷۳ کیلوگرم محصول تولید شد (جدول ۳). مصرف بیشتر کودهای نیتروژنه عامل کاهش بهره‌وری بود. از آنجایی که انرژی ویژه با بهره‌وری انرژی رابطه عکس دارد می‌توان گفت که

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

با افزایش عملکرد و کاهش مصرف انرژی در بخش کودهای شیمیایی و عملیات زراعی می‌توان مصرف انرژی را به ازای هر کیلوگرم محصول کاهش داد. رضوان طلب و همکاران (Rezvan Talab *et al.*, 2015) دریافتند که استفاده از ماشین آلات با بهره‌وری بالاتر موجب کاهش مدت زمان استفاده از آن و در نهایت مصرف سوخت می‌گردد که می‌توان بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی را در هر هکتار افزایش داد و مصرف انرژی به ازای هر کیلوگرم دانه کاهش خواهد یافت. همچنین ایشان بیان کردند که استفاده از ارقامی با پتانسیل عملکرد بالاتر و مدیریت بهتر زراعی در تولید گندم و سویا که منجر به افزایش عملکرد گردد نیز می‌تواند بر بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی بیافزاید.

منابع

Allali, K., Dhehibi, B., Kassam, S. N., Aw-Hassan, A. 2017. Energy Consumption in Onion and Potato Production within the Province of El Hajeb (Morocco): Towards Energy Use Efficiency in Commercialized Vegetable Production, 9(1): 118-127.

Chmelíková, L., Schmid, H., Anke, S., et al. 2024. Energy-use efficiency of organic and conventional plant production systems in Germany. Sci Rep 14, 1806. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51768-3.

Dimitrijević, A., Gavrilović, M., Mileusnić, Z. Miodragović, R. 2020. Energy efciency of the mineral fertilizer application in crop production. J. Proc. Energy Agric. 24, 26-30.

Gao, Z., Wang, C., Zhao, J., Wang, K., Shang, M., et al., 2024. Adopting different irrigation and nitrogen management based on precipitation year types balances winter wheat yields and greenhouse gas emissions. Field Crops Research, 280: 108484.

Kargwala, R., Yadvika, Kumar, A., Kumar Garg, M., Chanakaewsomboon, I. 2022. A review on global energy use patterns in major crop production systems. Environ. Sci. 1: 662-679.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., & Nonhebel, S. 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable Sustainable Energy Review, 30: 724-733.

Mollaei, K., Afzalinia, S., 2012. Determination of energy indices in wheat and rapeseed production in the farming and industry of the Namdan Plain of Eqlid. Journal of Plant Ecophysiology, 10: 26-36. (In Persian).

Rahman, M. M., Khan, I., Field, D. L., Techato, K., Alameh, K. 2022. Powering agriculture: Present status, future potential, and challenges of renewable energy applications. Renew. Energy 188, 731-749.

Rajabi Hamedani, S., Shabani, Z., Rafiee, S. 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, 36: 2367-2371.

Rezvan Talab, Nasibeh. 2015. Evaluation of fuel consumption, energy and greenhouse gas emissions in wheat and soybean production in Golestan Province. PhD thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 318 pages. (In Persian).

Safa, M., Samarasinghe, S. 2012. CO2 emissions from farm inputs "case study of wheat production in Canterbury, New Zealand. Environ. Pollut, 17: 126-132.

Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E. Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy, 50: 54 -61.

Taghavifar, H., Mardani, A. 2015. Energy consumption analysis of wheat production in West Azarbayjan utilizing life cycle assessment (LCA). Renewable Energy, 74: 208-213.

Wang, D., Feng, H., Li, Y., Zhang, T., Dyck, M., Wu, F. 2019. Energy input-output, water use efficiency and economics of winter wheat under gravel mulching in Northwest China. Agricultural Water Management, 222: 354–366.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]

Xiong, L., Shah, F., Zhao, Y., Li, Z., Zha, X., Ye, M., Wu, M. 2024. Sustainability analysis of irrigated and rainfed wheat production systems under varying levels of nitrogen fertilizer through coupling of emergy accounting and life cycle assessment. Journal of Cleaner Production. 447: 141423.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.13]